

# Conceptos claves, prevención y manejo de resistencia de insectos a insecticidas

Efraín Becerra Contreras<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ingeniero Agrónomo Dow AgroSciences. ehbecerra@dow.com

---

## Introducción

Desde hace varias décadas hemos tenido diferentes compuestos químicos o productos para luchar contra los insectos plaga en el campo. Cada día la industria para la protección de cultivos está desarrollando nuevos conceptos encaminados a ofrecer altos niveles de control dentro de los cada día más exigentes requerimientos de los productores, las agencias de gobierno y principalmente los consumidores. También es cierto que cada día es más difícil satisfacer todas estas demandas y desarrollar compuestos que llenen estas exigencias, lo que lleva a que la situación esté cambiando, y no hay muchos productos en el horizonte. Esto ha venido incrementando las preocupaciones por el desarrollo de fenómenos de resistencia y su impacto en los costos de producción.

La resistencia de los insectos a los compuestos para la protección de cultivos es quizás lo menos comprendido en el controvertido sistema de control de plagas en estos días. De hecho, existen una cantidad de mitos y aseveraciones acerca de lo que es la resistencia y cómo debe ser manejada.

Varios de los mitos más comunes referentes a la resistencia son: los insectos plaga crean resistencia o se convierten en inmunes a los insecticidas; los insectos plaga son resistentes a los compuestos insecticidas débiles o inferiores; si se aumenta la dosis o la concentración del insecticida en las aplicaciones controlaremos la resistencia; aplicar un insecticida a bajas dosis genera resistencia; y finalmente, intercambiando o rotando insecticidas de diferente modo de acción obtendremos siempre un buen control sobre la resistencia.

En la charla de hoy vamos a desarrollar el tema de manejo de resistencia de insectos y vamos a analizar si los mitos que he expuesto en el párrafo anterior son o no correctos. Este es un tema complicado que se presta a confusión o se interpreta de diferentes maneras de acuerdo al fin que se persiga. Sin embargo hoy vamos a tratar de aclarar algunos conceptos para que cada quien tome su propia decisión en esta área.

## Situación actual

La resistencia de los insectos hacia los plaguicidas no es un fenómeno nuevo. Cerca de 1908 se conoció que la escama de San José (en el estado de Washington) había adquirido resistencia

contra las aplicaciones por atomización de sulfuro de lima. Al día de hoy se reporta que aproximadamente 550 especies han desarrollado resistencia a uno o más compuestos, siendo los organofosforados (3357), piretroides (3077) organoclorados (1481) y carbamatos (704) los que presentan una mayor frecuencia de casos de desarrollo de resistencia. Con referencia a los órdenes de insectos Diptera (2557), Lepidoptera (2537), Hemíptera (1741) y aunque no pertenece a la clase insecta, Acari (1150) y Coleoptera (982), son los de mayor frecuencia frente al desarrollo de resistencia.

Para hablar de resistencia debemos entender tres puntos claves:

**Resistencia de insectos a insecticidas confunde a mucha gente.** Es un área donde se teme que estamos creando un "súper Insecto", el cual no es afectado por productos químicos. Este no es el caso que estamos tratando. **Resistencia no es inmunidad.** La inmunidad como tal se desarrolla para cada individuo y la exposición y sobrevivencia de un insecto a bajas dosis de insecticida no lo hace inmune a altas dosis más tarde. El fenómeno de resistencia sí se desarrolla para toda una población y se puede transmitir genéticamente.

El segundo punto a comprender es que **cada compuesto químico tiene diferente potencial para desarrollar resistencia.**

Como último punto es que **tenemos herramientas para evitar que se presente la resistencia:** la más fácil y accesible a todos nosotros es la rotación de insecticidas. Para esto lo que se necesita es reconocer que existen diferentes familias de compuestos químicos, y la utilización racional de ellos alternadamente (y combinando esta rotación con otras prácticas de control) es la práctica más recomendable a seguir.

Si al final de esta charla se entienden estos tres puntos que yo presento, se habrá comprendido completamente el significado del término resistencia.

### **Definición de resistencia**

Aclaremos algunos de los conceptos que se utilizan dentro de este tema:

Los términos "resistencia" o "inmunidad" son comúnmente utilizados de igual manera para describir lo que es resistencia, pero estos significan cosas completamente diferentes.

**Resistencia:** es la reducción de la susceptibilidad de una población debido a mecanismos controlados genéticamente.

Hay dos palabras claves en esta definición, susceptibilidad y población. Todas las poblaciones de insectos son susceptibles en alguna medida a los insecticidas. Cuando la susceptibilidad de la población se reduce, significa que una mayoría de insectos va a sobrevivir a la aplicación del

insecticida. La otra palabra clave es que están controlados genéticamente, es decir que los cambios son transmitidos de generación en generación. En otras palabras la resistencia es genética, los insectos no la crean ni la desarrollan individualmente, sino que han nacido o no resistentes a un insecticida en específico.

Otra definición de resistencia un poco más detallada es: "La resistencia a un insecticida es la pérdida de la susceptibilidad de este compuesto por parte de una población de insectos, originado de un mecanismo genético controlado.

El otro término a definir es "**resistencia cruzada**": la selección con un producto produce también resistencia a otros productos, aunque estos no hayan sido utilizados anteriormente. La selección de una población a un piretroide puede producir resistencia a otro piretroide. Esta población podría ser resistente a otro piretroide nuevo a pesar de que el nuevo piretroide nunca fue aplicado antes.

Casi todas las poblaciones de insectos poseen dentro de ellas individuos resistentes a algún insecticida en específico (estos son un número pequeño dentro de la población). Por ejemplo, cuando una plaga es resistente a un insecticida carbamato, usualmente esto se debe a que el insecto posee un tipo de enzima muy específico, que puede romper y desintoxicar el ingrediente activo o molécula del insecticida.

La resistencia de estos individuos es pasada a su descendencia. Esta resistencia no se convertirá en un problema mientras este conjunto de individuos no crezca o la población se especifique en una sola línea genética.

Por otra parte la inmunidad es una condición creada por los individuos. Por ejemplo: los humanos se convierten en inmunes a enfermedades (tales como sarampión o varicela) luego de padecerlas por primera vez. Pero esta inmunidad no es heredada a sus hijos debido a que no es una característica genética.

Comúnmente se cree que los insectos al encontrarse constantemente expuestos a dosis bajas para su mortalidad, puede crearse inmunidad por parte de estos hacia ese compuesto. Los insectos no desarrollan tal inmunidad; ellos son resistentes o susceptibles por sus características genéticas. Por tanto las sub-dosis no hacen a las plagas resistentes o inmunes. No obstante reducir las dosis tampoco nos provee de un control efectivo.

Irónicamente la mayoría de los individuos resistentes a insecticidas, son del total de la población, los más débiles. Estos se reproducen y desarrollan de manera más lenta que los demás, poseen mayor susceptibilidad a las enfermedades, se mueven de manera más lenta o son de tamaño inferior a sus congéneres. Solamente en un aspecto ellos son más fuertes "su resistencia a un tipo de plaguicida". Una gran cantidad de entomólogos han determinado la razón de esto, y es simplemente que el gen que causa la resistencia de estos individuos generalmente está ligado a genes adversos en el mismo cromosoma. Si no se utilizaran insecticidas por un periodo de tiempo en una población, los individuos resistentes disminuirían constantemente hasta desaparecer (ya que los susceptibles son más fuertes).

## 1. Desarrollo de la resistencia

Con base en lo planteado anteriormente entonces podemos afirmar que la resistencia es un fenómeno genético. Esto quiere decir que es causado por genes específicos, los cuales pre-existen en una población de insectos a dosis bajas, aún antes de que el insecticida haya sido usado. Un insecto puede nacer resistente, si tiene los genes de resistencia. Cuando estos insectos sobreviven a una aplicación de insecticida, ellos pasan los genes de resistencia a su progenie incrementando la resistencia (o número de individuos resistentes) a dicha población.

Este fenómeno no aparece de la noche a la mañana, generalmente muchas generaciones de especies de insectos han ido y venido antes de que observemos un cambio notable en la población, dejando allí una tasa significativa de individuos resistentes a un insecticida en particular.

Un incremento en la población de individuos resistentes generalmente es acompañado de un decrecimiento de los individuos susceptibles. Existen tres factores que influyen en la rapidez de esto:

- La genética de los insectos
- La actividad biológica de los insectos
- Los métodos utilizados para el control de insectos

Todos hemos oído hablar de Darwin y la mal llamada "Ley del más fuerte" que hoy en día se ha denominado como "Ley de sobrevivencia" que se fundamenta en que sobrevive el mejor adaptado. Comparemos el dinosaurio con la cucaracha. Esta última existe hoy, mientras los dinosaurios desaparecieron hace miles de años; la razón para ello es que la cucaracha se encuentra mejor adaptada para los cambios.

La genética juega un papel fundamental de acuerdo a un principio básico: la supervivencia de los más aptos. Cuando se utiliza un mismo plaguicida repetidas veces para proteger un cultivo (o una serie de cultivos), de una población de insectos la mayoría de los individuos que no posean el gen para la resistencia de ese insecticida serán eliminados. Mientras que las pequeñas poblaciones de individuos resistentes sobrevivirán y se multiplicarán. A menos que se utilicen otros métodos de control estas poblaciones resistentes crecerán hasta el punto de realizar daños significativos en el cultivo (Figura 1).

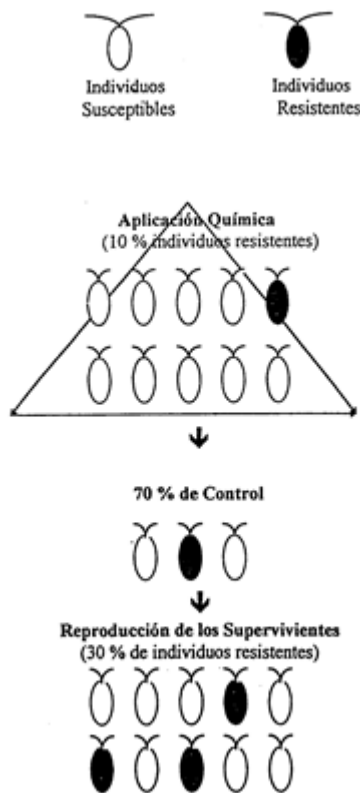
En el caso de los insectos el fenómeno de la resistencia ocurre por presión de selección. Cuando aplicamos determinado producto, empezamos un proceso de selección para insectos con el gen R (significa resistencia).

En términos comunes se escucha hablar de incremento de resistencia. Esto no es más que un incremento en la frecuencia del gen R.

Resistencia

GEN R
GEN S

R = resistente. S= Susceptible



**Figura 1.** Incremento de individuos resistentes en una población

Una vez la frecuencia del gene R aumenta, la población se vuelve más resistente. Una manera de ilustrar la resistencia es comparando el número de insectos resistentes en una población sin tratar, contra el número de insectos resistentes en una población tratada. Por ejemplo, si consideramos que la población se compone de 100 insectos (individuos), y en ella se encuentran 5 resistentes a la frecuencia es de:

GEN R (5)

Resistentes	_____
	GEN S (95)

100 individuos = 5 resistentes más 95 susceptibles.

Si aplicamos un producto y 80 de los insectos susceptibles mueren, quiere decir que la proporción se cambió:

	GEN R (5)
Resistentes	_____
	GEN S (15)

La relación entre los sobrevivientes cambia y en vez de ser 95 a 5 como antes de la selección, ahora es 15 a 5. Cuando estos 20 insectos se aparean, su progenie de 500 insectos podría componerse de 400 susceptibles y 100 resistentes. Si se continuara seleccionando la proporción entre insectos resistentes y susceptibles se incrementaría con cada generación que es tratada. La idea es prevenir el incremento de la frecuencia del gen R, de tal manera que se evite o retarde el establecimiento de la resistencia. Se puede trabajar de dos maneras:

Si existe una población con genes R, se debe introducir insectos con genes S. Si no se ha establecido, trabajar para prevenir su aparición y la clave es reducir la presión de selección.

Por lo tanto el objetivo final es controlar la población y al mismo tiempo mantener la frecuencia del gen resistente en bajos niveles. Es fácil mantener este gen en bajos niveles, pero las dos cosas al mismo tiempo es difícil. Si nunca se aplica un insecticida a una población, la frecuencia del gen resistente permanecerá bajo y no se presentará resistencia. Pero la población del insecto crecerá tanto que el resultado será un serio daño económico al cultivo.

Hay dos factores que influyen la introducción de genes susceptibles en una población de insectos. Estos son:

### 1.1. Inmigración y refugio

El primer concepto que me gustaría discutir es el impacto de inmigración en el desarrollo de la resistencia. Como mencioné anteriormente, cualquier cosa que mantenga los genes susceptibles ayudará a prevenir la resistencia. La inmigración de individuos o insectos susceptibles en una población tratada tendrán el efecto de dilución de genes R, y por lo tanto retardarán el incremento de la resistencia.

El segundo factor es el impacto de refugio en el desarrollo de la resistencia. El Dr. George Georgiou de la Universidad de California en Riverside, introdujo este término. En otras palabras significa la evasión de los insectos al tratamiento insecticida. La idea es que al tratar un área,

algunos de los insectos están ocultos y no son alcanzados por la acción del insecticida. Por lo tanto estos no son seleccionados y permanecen susceptibles.

Decíamos anteriormente que cualquier cosa que evite el incremento del gen R ayudará a evitar el establecimiento de la resistencia. Hay algunos factores que pueden ayudar a reducir la presión de selección. Por ejemplo, dosis alta de insecticidas, gran número de aplicaciones y productos muy residuales son tres factores que ayudan a seleccionar gen R y por lo tanto causar resistencia. Se aprecia que las dosis altas incrementan la presión de selección y se disminuye el tiempo para que se presente resistencia. Lo mismo sucedería si aumentáramos el número de aplicaciones o si usáramos plaguicidas de mayor residualidad.

## **2. Mecanismos de resistencia**

Todos los insectos tienen un nivel de susceptibilidad a cada producto. Existen algunos mecanismos bioquímicos que conducen a la resistencia. Según Miller (1988) se clasifican en 4 categorías:

### **2.1. Resistencia por comportamiento**

- Comportamiento evasivo
  - Estimulo dependiente – Repelencia irritabilidad
  - Estimulo Independiente – Prefiere otros hábitats a los normales

### **2.2. Resistencia a la penetración**

- Menor velocidad de penetración
- Mayor capacidad de almacenar y/o excretar el insecticida sin metabolizar
- Excreción aumentada
- Almacenamiento en cuerpos grasos

### **2.3. Resistencia metabólica**

- Sistemas enzimáticos
- Esterasas
- Oxidasas (OFM)
- Glutation s-transferasas

### **2.4. Resistencia al sitio de acción**

- Insensibilidad en el sitio objetivo

### 3. Principales mecanismos asociados a los insecticidas

#### 3.1. Organofosforados

Cuando un insecto es resistente a un insecticida organofosforado, generalmente es por causa de un incremento del metabolismo. Este fenómeno es conocido como *resistencia metabólica*, en donde la plaga produce rápidamente una enzima que rompe al insecticida organofosforado desintoxicando al insecto. Este tipo de enzimas generalmente son del tipo de las esterasas. Los organofosforados como chlorpirifos, metamidofos, profenofos, son degradados generalmente por un sistema enzimático de esterasas, y ellos tienden a ser mucho más específicos para cada producto. La resistencia cruzada entre organofosforados es mucho menor. Por ejemplo, se puede tratar con diazinon y seleccionar para una enzima que degrada diazinon. Esta enzima específica podría no afectar a Lorsban\* de tal manera que los insectos podrían todavía ser susceptibles. Las enzimas esterasas son usualmente selectivas, y cada una de ellas degradan muy pocos compuestos. Por esta razón **es raro observar resistencia cruzada entre insecticidas organofosforados, a menos que estos posean estructuras químicas parecidas. De igual manera es raro observar resistencia cruzada entre insecticidas organofosforados y carbamatos u organofosforados y piretroides.**

Compuesto insecticida	Tipo de Resistencia			
	Comportamiento	Penetración	Metabólica	Insensibilidad al sitio de acción
Organoclorados			Esterasas, Oxidasas (OFM)	Receptor GABA
DDT	Repelente, Irritante	Mayor cantidad de proteínas cuticulares, Mayor cantidad de lípidos, Mayor esclerotización	Glutation-s-transferasas	Axon - Canal Na - Kdr
Organofosforados			Carboxil esterasas, Oxidasas	Acetil colinesterasa (AChE)
Malathion			Carboxil-esterasas	Acetil colinesterasa (AChE)
Carbamatos			Esterasas, Oxidasas (OFM)	Acetil colinesterasa (AChE)
Piretroides	Repelente, Irritante	Penetración reducida	Oxidasas (OFM), Monooxigenasas, Glutation-s-transferasas	Axon - Canal Na - Kdr
Neonicotinoides			Monooxigenasas	
Reguladores de crecimiento			Monooxigenasas	
Avamectinas / Milbemectinas		Penetración reducida. Excreción aumentada		Disminución en número de receptores
Disruptores de la energía			Monooxigenasas	
Ketoenoles			Oxidasas	
<i>Bacillus thuringiensis</i>				Receptores alterados y/o disminución en número de receptores

### 3.2. Carbamatos

La resistencia metabólica es utilizada también por los insectos con relación a los insecticidas carbamatos. No obstante el principal mecanismo de resistencia usado por los insectos contra este tipo de compuestos es el sistema enzimático Mixto Función Oxidasa (M.F.O). La resistencia a carbamatos es producida por un mecanismo que es un aumento del metabolismo, el cual descompone la estructura del insecticida. En otras palabras lo que quiere decir es que este sistema enzimático (MFO) ataca el producto y cambia su estructura. Tan pronto como esto sucede el producto se inactiva. A menudo este sistema enzimático presenta resistencia cruzada con otros carbamatos, porque la mayoría de los carbamatos son muy similares en estructura. Por lo tanto el sistema MFO también trabajará en ellos. Este sistema MFO se puede neutralizar con productos sinérgicos. Por ejemplo, el Butoxido de piperonyl.

Pero nosotros encontramos que este sinérgico es utilizado con mayor frecuencia en el control de plagas caseras y no tanto en el control de insectos en cultivos, porque estos productos "sinérgicos" tienden a ser inestables en el medio ambiente exterior.

Este es un sistema general que puede degradar un alto rango de insecticidas. Es por esta razón que **es común observar resistencia cruzada entre insecticidas carbamatos.**

### 3.3. Piretroides

La resistencia a piretroides es más complicada, debido a que existen varios y diferentes tipos de mecanismos comunes que utilizan los individuos resistentes para metabolizarlos. Hay básicamente tres tipos de mecanismos que producen la resistencia a piretroides. Uno de los mecanismos es penetración reducida. Este mecanismo no es bien entendido pero sabemos que con la penetración reducida se obtiene una baja del transporte del piretroide a través de la cutícula del insecto.

La mayoría de los piretroides son activos como insecticidas de contacto. Los piretroides se tienen que mover a través de la cutícula antes de ser activos y la penetración reducida ocurre cuando se presentan cambios en la cutícula del tal forma que el piretroide no puede atravesarla y producir el efecto tóxico. Generalmente, el incremento de metabolismo para piretroides es el mecanismo MFO. En el mismo sistema enzimático discutido anteriormente para carbamatos. El butóxido de piperonyl actúa inhibiendo este sistema enzimático. Si recuerdan, cuando los piretroides naturales fueron introducidos por primera vez ellos tuvieron un gran poder de volteo. Si se aplicaba a un insecto este inmediatamente caía; pero después de 10 a 20 minutos, se levantaba y se iba. El sistema MFO degrada las piretrinas naturales tan rápidamente que los insectos eran capaces de

recuperarse. Posteriormente se le agregó el Butóxido de piperonil. Este sinergista inhibe el sistema MFO para que los insectos no se recuperen.

Hay sitios químicos específicos en la molécula de piretroides que están sujetos al ataque del sistema MFO. Una de las razones por las cuales los nuevos piretroides son más activos que las piretrinas naturales, es porque esos sitios han sido químicamente alterados para bloquear el sistema MFO. Esta es la razón por la cual los nuevos piretroides no son sinergizados muy bien con el Butóxido de piperonil. El sistema MFO es el principal mecanismo de defensa de los mamíferos, y esta es la razón por la cual los nuevos piretroides son más tóxicos a los humanos que los viejos porque los nuevos productos no pueden ser fácilmente descompuestos por el sistema MFO.

El tercer mecanismo para resistencia a piretroides es también el más importante. Este es insensibilidad del sitio, llamado también resistencia KDR (Knockdown Resistance) o resistencia al volteo inmediato. Básicamente lo que sucede es que el sistema nervioso se vuelve insensible a las dosis letales normales del producto. El piretroides hacen contacto con el sistema nervioso, pero este no se ve afectado, por lo tanto el insecto no muere. Este mecanismo puede producir altos niveles de resistencia. El punto importante con este tipo de resistencia a piretroides es que la resistencia de un producto A produce resistencia cruzada al producto B así no estén relacionados entre sí.

En la mayoría de los casos el mecanismo de resistencia de los insectos no tiene nada que ver con el modo de acción del insecticida. Por el contrario la resistencia es normalmente causada por la inactivación bioquímica del insecticida. Esta desintoxicación está relacionada con la molécula química del insecticida y no con el modo de acción. Por ejemplo, aunque existen insecticidas carbamatos y piretroides con diferente modo de acción, se han reportado casos de resistencia cruzada entre estos insecticidas debido a que ambos son desintoxicados por medio del sistema enzimático (MFO). Por otra parte organofosforados y carbamatos poseen el mismo modo de acción, pero se han observado pocos casos de resistencia cruzada entre ellos, debido a los insectos resistentes poseen diferentes mecanismos de acción para desintoxicarlos.

#### **4. Dinámica de la resistencia**

Hay varios factores que influyen la selección de resistencia. Estos factores son: genéticos, biológicos y operacionales. Los factores genéticos y biológicos son inherentes a la biología del organismo. Los factores genéticos serían por ejemplo si los genes son resistentes, dominantes o recesivos.

#### 4.1. Factores genéticos:

- Número de genes de resistencia
- Frecuencia de genes de resistencia
- Dominancia de los genes de resistencia
- Penetración y expresividad de los genes de resistencia

Historia de la selección con insecticidas relacionados

Integración de los genes de resistencia con la capacidad biótica

- Gen Adverso. Produce ciertas características negativas al individuo: menor reproducción, lento desarrollo, susceptibilidad a enfermedades, menor tamaño, movimiento lento.

#### 4.2. Factores biológicos / ecológicos

Algunos de los factores biológicos son:

- Número de generaciones que se dan para un insecto
- Número de descendientes por par, rapidez de distribución en un área y su rango de migración, entre otros.
- Duración de la generación. Mientras más rápido sean transmitidos los genes de resistencia de una generación a la siguiente, mayor posibilidad de generar resistencia. A mayor número de generaciones por año, mayor posibilidad de generar resistencia.
- Ciclo de vida: especies con ciclo de vida corto tienen mayor probabilidad de generar resistencia.
- Cantidad de descendientes por generación. A mayor número de descendientes por par, mayor probabilidad de generar resistencia.
- Monofagia / Polifagia. Insectos plaga polífagos tienen mayor capacidad de detoxificación y por tanto mayor riesgo de desarrollo de resistencia.
- Insectos plaga con pocos hospederos alternos tienen mayor riesgo de desarrollar resistencia.
- Presencia de refugios. Al tratar una población, no todos los individuos serán expuestos al insecticida.
- Movilidad, dispersión. Mientras mayor sea el rango migratorio, mayor será el cruzamiento entre diferentes poblaciones y mayor será la posibilidad de recuperar genes de susceptibilidad retrasando el desarrollo de resistencia.

### 4.3. Factores operacionales

Los factores operacionales son aquellos que nosotros como productores, técnicos y como industria, y los usuarios finales pueden hacer para influir, prevenir o retardar la selección de resistencia. Por ejemplo, qué agroquímico se va a aplicar, cuántas veces se va a aplicar, qué tan adecuadamente se aplicó el tratamiento.

Hablando de factores operacionales, una de las prácticas utilizadas es las mezclas de insecticidas. Investigadores versados en la materia han logrado demostrar a nivel de laboratorio cómo el continuo uso de una mezcla puede llevar a crear resistencia a la combinación. Los factores operacionales deben considerar:

- Estado biológico. Instar larval
- Naturaleza del insecticida. Sistémicos vs. translaminares: Sistémico: con este tipo de productos cualquier insecto que se alimente de la planta estará expuesto al insecticida.
- Dosis del insecticida: usando la dosis mínima efectiva se retardará la resistencia porque se disminuye la presión de selección.
- Presencia de residuos: a mayor residualidad mayor probabilidad de eliminar los individuos susceptibles.
- Umbral de aplicación. Insectos plaga que atacan cultivos agrícolas con muy bajos o muy estrechos umbrales de acción tienen mayor posibilidad de desarrollar resistencia.
- Frecuencia de aplicación. Afecta la velocidad de resistencia. A mayor número de aplicaciones con el mismo producto mayor probabilidad de desarrollar resistencia.
- Calidad de aplicación. A mejor calidad de aplicación mayor exposición de los insectos susceptibles al producto.

### 5. ¿Cómo evitar la resistencia?

Cuando hemos despejado todas las dudas con respecto a la resistencia, es muy fácil y claro ver las estrategias a seguir para un buen manejo anti-resistencia de las plagas que se encuentran en un cultivo.

Si la estrategia para combatir la resistencia es implantada y no se obtienen resultados satisfactorios, esto es debido a que ya existe una población con gran cantidad de individuos resistentes. En este caso es muy difícil reducir la carga genética existente, pero la mejor opción es continuar con un plan establecido para bajar los porcentajes de individuos resistentes.

La otra práctica por la cual me inclino más debido a la racionalidad que conlleva, es la rotación de insecticidas. Esta práctica asume que en ausencia del producto la población es

reversible hacia individuos susceptibles. El desarrollo de resistencia se puede evitar con rotación de insecticidas porque cuando se rota de un insecticida a otro, cualquier resistencia que se haya formado para el primer insecticida desaparecerá durante el tiempo que el segundo insecticida es usado. Este esquema de rotación funciona si los productos en la secuencia de rotación tienen diferentes modos de acción y son de diferentes familias (clases o estructuras químicas).

### **5.1. ¿Cómo operar un programa usando productos diferentes?**

El producto A se aplica a la primera generación de insectos, y un ligero incremento en la resistencia podría resultar. Durante la segunda generación se aplica el producto B. En ausencia de presión de selección del producto A, la resistencia comienza a declinar para el producto A. Luego se aplica el producto C. Cuando le corresponda al producto A ser aplicado nuevamente, la susceptibilidad habrá regresado a su nivel original. El mismo fenómeno aplica para los productos B, C y D.

¿Por qué la población resistente vuelve a retornar a población susceptible?

Esto ocurre porque generalmente los insectos que llevan el gen de resistencia no son tan "saludables" (bajo potencial biótico) como aquellos que son susceptibles. En presencia del insecticida, esta carencia de salud (o adaptación al medio ambiente) está oculta por su capacidad para sobrevivir a la presencia del agroquímico. Sin embargo, cuando el producto químico deja de ser aplicado, esta población no puede competir con la saludable (mejor adaptada) o población susceptible al insecticida.

Hablemos ahora un poco de cuando la resistencia se torna prácticamente irreversible, y para esos debemos hablar de los genes deletéreos, también conocidos como genes nocivos. En el proceso de generación de fenómenos de resistencia estos genes nocivos están estrechamente relacionados. Si la selección continúa, el factor negativo (genes deletéreos) que hace a los insectos "no saludables" deja de ser asociado con el gen de la resistencia. Una vez que esto ocurre, los individuos resistentes pueden competir igualmente con los susceptibles aún en la ausencia de los insecticidas. Por tanto, una vez el desarrollo de la resistencia ha progresado hasta tal punto, el hecho de retirar el uso del insecticida no hará regresar a la población al estado de susceptibilidad.

Los puntos importantes a recordar cuando se implementa un programa de rotación son:

El programa de rotación se debe implementar temprano de forma proactiva para prevenir el desarrollo de resistencia. Debemos prevenir que los genes de resistencia se separen de los genes deletéreos, ya que si esto llega a suceder no hay posibilidades de volver a recuperar los genes de susceptibilidad y por lo tanto la única alternativa es cambiar de compuestos.

Se debe rotar entre diferentes clases de productos, como organofosforados, piretroides, carbamatos, neonicotinoides, reguladores de crecimiento y otros. Estos productos no van a seleccionar para el mismo mecanismo de resistencia.

En resumen, les he mostrado que la resistencia no es inmunidad, y que adicionalmente la resistencia se desarrolla para una población y no para un individuo. También que cada especie tiene su propio perfil biológico y por lo tanto las poblaciones van a diferir con respecto al riesgo de desarrollar resistencia.

Discutimos cómo la resistencia se desarrolla por presión de selección, o sea eliminando todos los individuos con genes susceptibles.

Se ha visto que los diferentes productos tienen diferentes tendencias a desarrollar resistencia y el riesgo potencial a desarrollar resistencia varía dependiendo de la familia o clase a la cual pertenezca el insecticida.

Si la presión de selección se reduce, la resistencia puede ser retardada o evitada.

Por último, de los esquemas de manejo de productos, la rotación de insecticidas es el programa de manejo de resistencia más seguro económico y práctico conocido hasta ahora.

#### Literatura citada

- BECERRA, E. 2006. ¿Qué significa Resistencia a insectos? Dow AgroSciences. Bogotá Colombia. Documento interno.
- BADII MOHAMMAD, H.; GARZA ALMANZA, V. Resistencia en insectos, plantas y microorganismos. en: <http://www2.uacj.mx/IIT/CULCYT/Enero-Febrero2007/5ARTCULOBADII.PDF>
- CLOYD, R.; RICHARD, C. Manejo de Resistencia: Principios de Resistencia, modo de acción y rotación de pesticidas (Traducción al español (Ana Lucrecia de Mac Ven. Universidad Rafael Landívar Guatemala). En: [http://www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/fact\\_sheets/forestry\\_and\\_horticulture/2010\\_resistance\\_fact\\_sheet\\_-\\_ksu\\_caes\\_spanish.pdf](http://www.ct.gov/caes/lib/caes/documents/publications/fact_sheets/forestry_and_horticulture/2010_resistance_fact_sheet_-_ksu_caes_spanish.pdf)
- DEVRIES, D.; PAROONAGIAM, D. 2004. Understanding insecticide resistance. Dow AgrSciences power point presentation. Indianapolis, pag 60.
- GEORGHIOU, G. P.; TAYLOR, CH. E. 1986. Los insecticidas y la Resistencia de las plagas: Las consecuencias del abuso. En: [http://www.cm.colpos.mx/moodle/file.php/13/LAS\\_CONSECUENCIAS\\_DEL\\_ABUSO.pdf](http://www.cm.colpos.mx/moodle/file.php/13/LAS_CONSECUENCIAS_DEL_ABUSO.pdf)
- GEORGHIOU, G. P.; LAGUNES, A.Y; BAKER, J. D. 1983. Effect of insecticide rotations on evolution of resistance. Fifth International Congress of Pesticide Chemistry (IUPAC), Kyoto. J. Miyamoto *et al.*, eds.
- THOMAS VAN LEEUWEN, J. V., TSAGKARAKOU, A.; DERMAUWA, W. TIRRY, L. 2010. Insect Biochemistry and Molecular Biology. En: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20685616>.